因應氣候變遷之調適與緩解策略

楊純明 [1*]、張致盛 [2]、陳駿季 [1]
[1]行政院農業委員會農業試驗所
[2]行政院農業委員會臺中區農業改良場

摘要

目前最受全球矚目的「氣候變遷」議題，正確的說應是「氣候的快速變遷」問題，其所以受到嚴重關切，原因在於同時影響人類生活和環境存續。從現實的觀點，惟有透過能源使用效率的提升及新科技的發展，才可能在不大幅影響現行人類生活情形下減少溫室氣體的排放而解決此一難題。眾所周知，自工業革命迄今的近兩百年期間，長期且大量溫室氣體的蓄積，使得大氣圈內形成明顯的溫室效應。經由科學證據的證實，地表平均溫度在過去兩百年期間確實呈現增溫的趨勢，尤其近三十年更為顯著，不幸的是地球的溫室效應似將進展直到下一世紀。吾人應正視地球持續溫暖化的發展，以及因而衍起的氣候快速變遷，擬定因應的調適與緩解策略，才能化危機為轉機，永續人類文明和孕育此一文明的環境。我國的農業雖然已具豐實基礎，但是永續經營的概念及做法的落實仍需加強，特別是群(民)眾/農民的教育宣導，而認識與推演氣候變遷的指標徵狀是因應氣候變遷的第一步。可以預見全球溫暖化及氣候變遷所造成的考驗將更趨嚴峻，情境將更多元而複雜，如何面對，正考驗著我們的勇氣和智慧。

關鍵詞：調適、緩解、策略、全球溫暖化、氣候變遷、農業觀點。

* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw
投稿日期：2011 年 11 月 1 日
修稿日期：2011 年 12 月 23 日
作物、環境與生物資訊 8:254-264 (2011)
Crop, Environment & Bioinformatics 8:254-264 (2011)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

Strategies of Adaptation and Mitigation for Coping with Climate Change

Chwen-Ming Yang[1]*, Chih-Sheng Chang[2] and Junne-Jih Chen[1]

[1] Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

[2] Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Dacun, Changhua Hsien 51544, Taiwan ROC

ABSTRACT

Climate change, or more appropriately referred to rapid climate change, becoming a global problem is that it brings many impacts to people and the environment. From practical points of view, it seems only by greater energy efficiency and new technologies that all human society may be able to reduce greenhouse gases and solve this global challenge with least effects to human life. The long term accumulation of mass amount of atmospheric greenhouse gases since the first industrial revolution began in the eighteenth century has brought a consequence of greenhouse effect to the Earth. As a result, the annual land-surface average temperature is higher than it would be, particularly during the past thirty years of range, and is expected to be continuously increased till the next century. Such a global warming trend and the related rapid change of global climate should be treated seriously and timely with appropriate strategies of adaptation and mitigation fitted to both specific region or across the whole Earth. Taiwan has a solid agricultural infrastructure and foundation and is readily to design measures for coping with climate change, except the recognition of the importance of sustainable concept and management by farmers and local citizens.

Understanding and interpreting indicators of climate change is the first step of learning. It will be our stern challenges, as well as potential opportunities, to face the intriguing and the inter-related phenomena/scenarios evolved from climate change now and the future to come. The key is how we prepare ourselves for and respond to such challenges and opportunities.

Key words: Adaptation, Mitigation, Strategy, Global warming, Practice, Climate Change, Agricultural aspect.

前言

由於自工業革命迄今的近兩百年期間大量溫室氣體(greenhouse gases; GHGs)的蓄積，使得大氣圈內形成明顯的溫室效應(greenhouse effect)。由科學證據，顯示地表溫度在過去兩百年期間確實呈現增溫的趨勢，尤其是近三十年的升溫走向更為顯著(Levin 2011)。這些隨著長期化石燃料的使用及人類文明的各式活動累加的二氧化碳和其他溫室氣體，似將繼續推動地球的溫室效應進展直到下一世紀，因此可以預見地球將持續的溫暖化，甚至升溫幅度與日俱增。吾人應正視此一現象的發展，及時擬定因應策略，才能化危機為轉機永續人類文明，復使孕育此一文明的環境得以永續。

全球溫暖化的效應同時造成一連串次級效應(secondary effects)，包括了降水形態的變化(changes in patterns of precipitation)、極端天氣事件的增加(increased extreme weather events)及海平面的上升(rising sea levels)等各樣的情境，同時亦促進氣候的快速變遷。如今一體兩面的全球溫暖化及氣候變遷，也間接促使農業形態(agricultural patterns)發生改變、熱帶性病害(tropical diseases)向外擴張及產業貿易(industry trade)開拓新路徑等情事(IPCC 2001)，對生態環境和人類生活帶來多元而深遠的影響，無論農業或其他產業都沒有辦法脫離於這些情境之外。

Titus (1990)的報告曾指出，當現行的全球暖化趨勢持續至下一世紀，使得地表溫度增溫 3-5℃時(正如上次冰河期至今的升溫幅度)，可能會使海平面升高超過 1 米，此一後果尤其將嚴重影響許多地區地表水資源的供給、森林的分佈及農業的操作。有鑑於此，聯合國大會(the United Nations General Assembly)特別於 1988 年支持世界氣象組織(World Meteorological Organization; WMO)及聯合國環境節目(United Nations Environment Program; UNEP)成立『跨政府氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)』，致力於發展降低全球溫室氣體排放的全方位科學方法(案)，該小組成立宗旨包括: (1)利用最新的科技及全球社經資訊來綜合評估人類活動造成的氣候變遷及其引起的各種風險; (2)提供全方位科學評估結果的因應方案: A.針對環境與社會經濟的潛在影響，B.針對這些潛在影響的可行調適策略(adaptation strategy)或緩解策略(mitigation strategy)選項。各國或各地區規劃人員可參照 IPCC 的建議方案，再依據全球溫暖化的可能發展、衝擊大小及預設對策降低負向效應潛在效果等，自行研擬合適的調適及緩解策略。惟本文綜合回顧之文獻強調『預防重於治療』俗諺，呼籲切莫等待至負向效應已發生，損害(失)已然嚴重時才著手規劃這些策略。

氣候變遷的指標徵狀

氣候及其變化，無論影響因子為何，將左右人類、社區生活與產業發展。隨著全球的溫暖化及氣候的快速變遷，所衍生的萬般情境更將對各國的社會與經濟景況帶來許多的改變，我國自不例外。為了各種必要的因應調適，勢必要投入相當的花費，然而雖然費用高昂，未必成功有效，而且群眾、社區和生態環境等可能在調適過程已承受損(危)害，或已受到干擾。

吾人雖已發現及感受到氣候變遷的諸種

衝擊，包括對資源及對環境的負面作用，可是通常卻忽略其等同步帶來的正面機會。為了能夠減少這些負面作用，善用有利/商機的正面機會，就必須充分的瞭解氣候變遷的指標徵狀及未來的演進方向。惟有認識與推演氣候變遷的指標徵狀，才真正瞭解氣候變遷的內涵—造成原因、衍生情境及未來影響，也才能有效因應氣候變遷。

由指標徵狀在特定時間、特定地區及特定狀況/環境的特定狀態，吾人可以評估氣象系統的變化與變遷，又因指標徵狀具有時、地、物的單一或全部的徵兆，可以提供作為標示(記)或持續追蹤的基礎。IPCC (2001, 2007a, 2007b)的報告提供一些氣候變遷的指標徵狀，如溫度、降水(雨)、海平面、大氣中溫室氣體濃度等，吾人即可由這些指標徵狀評估某地區的氣象環境或氣候狀態，以及隨時間序列的改變，進而解釋短期與長期氣候的變遷。又可由其形成原因及造成效應，比較情境差異，推估未來趨勢，或供作因應決策依據。

這些指標徵狀所造成的直接效應，如高溫、低溫、日夜溫差、乾旱、淹水/水患等，以及如病、蟲、草害的發生、蔓延、流行等的間接效應，又產生另一類型的形態指標，可據以評估氣候變遷帶來不同層面的衝擊。如此一來，吾人可因此針對特定的情境研擬對應的調適策略與措施，解決特定地區的特定問題。於是，例如當一地可能遭逢升溫情境的風險時，即可就其脆弱環節的脆弱度(vulnerability)，擬具合適的〝耐/抗熱〞作戰對策。再以農業生產的升溫情境為例，果若某一特定農作生產區可能在未來若干年增溫若干度，農業部門即可以此為育種標的，選育可以耐/抗此高溫的作物種類或品種(系)，使可生產於此高溫情境；又若係當地短期高溫發生的頻率增加，則改以進行防護高溫的栽培技術研究，以對應短期高溫情境發生時的降溫調適。

另就有利的正面機會而言，當一地呈現溫暖化趨勢時，當地即可朝向耐熱作物或品種發展，或利用於產期調節、多期生產，並規劃合適的產銷體系迎合此一升溫現象。而且，也可配合開發降溫技術與設備(施)，鼓勵相關農企業提早抓住商機，善用機會開拓具有競爭力的新產業、新產品。這樣的化危機為轉型的契機，以及利用新的情境來創新、創造機會，而非一味的怨天尤人，才是生存的王道。

調適策略

尋求對於全球溫暖化及氣候快速變遷現象的調適策略，係一種因應氣候變遷的必要反應和作為，目的在於篩檢出降低自然界和人類生活系統受到衝擊的脆弱度。然而，縱使現在立即採取快速穩定溫室氣體排放的緩解策略，全力減少釋出溫室氣體，氣候變遷及其引發的效應仍將延續未來若干年，難以立即中斷或停止。雖然氣候變遷帶來的各種影響係全球性與全面性，但是對於開發中國家而言，氣候變遷的調適尤其重要，因為一國之調適應變力(adaptive capacity)與其社會及經濟發展狀態密切相關(IPCC 2007a)，這些開發中國家將會受到相對較為嚴重的影響。換言之，不同地區及族群的調適氣候變遷能力及潛力並不相同，由於社經地位的弱勢及局勢的不穩定，開發中國家的調適應變力通常低於已開發國家(Schneider *et al.* 2007)。

而所謂的「調適策略」，多以預定的情境或即時的狀態進行策略規劃(strategy planning)，再進一步擬訂採行措施(acting practice)。以預設的調適策略與措施針對實際發生的狀況進行因應，如果預設情境多元而周延，可以得到全盤式的對應成效，在解決廣大地區與未來世代的問題上，也通常較能夠得到雙贏結果。因此，正確的調適策略應當提供預設情境更為完整的架構與調適做法，如此在策略規劃上可有較佳的連結與合作，各項採行措施之間亦可有較適切的協調

與互動。為期歸納出周延而具體的策略，吾人在發展調適策略時，應依照特定議題/命題廣泛邀集相關單位及人員參與商討，以收集思廣益之效。而且，也應以該議題在當地及該地區的可能情境與脆弱度為前提，以事實與科學證據為基礎，才具有意義。再者，所擬具的策略要能夠解決該議題可能發生的複合性衝擊，也要能夠應付社會的各種改變與期望，才是真正有效的調適策略。而雖然調適策略可以針對特定議題/狀態獨立發展成型，如果再能融入現有(存)的對應處理機制，不僅更貼近現況，也較能快速建立適切的因應策略。

『調適應變力(adaptive capacity)』與『脆弱度』係調適策略兩項最重要的理念，因為對於氣候變遷衝擊的脆弱，所以必須要調適，由於必須減輕逆境危害及掌握因此帶來的新發展機會，應當力求建構充分有效而具調適能力的策略，以增進調適應變力(Adger *et al.* 2007)。明白的說，調適策略係一種減少系統脆弱度並增強系統受到氣候變遷影響恢復能力的調適做法/作為，而調適策略的擬定或基於預期改變後的情境，稱為預期性調適策略(anticipatory adaptation)，或基於現實情境，稱為反應性策略(reactive adaptation)(Adger *et al.* 2005)。目前採行的許多調適策略，多以反應現行氣候變遷的趨勢及變異為主，如作物耐熱及耐旱育種；僅有部分以未來預期的變遷情境，如進行耐鹽育種以因應未來若干年後海平面上升造成沿海土地的鹽鹼化。雖然調適應變力較強者未必等同於將會得到較高的成功調適結果，但是其對氣候變遷衝擊的反應較快，成功調適的機會自然較大。

擬訂調適策略的思考方向

一如上述，由於氣候變遷的廣泛性影響，調適氣候變遷需要高昂的花費，甚至在未來數十年間每年皆可能需要龐大費用。特別是當氣候變遷的速率與幅度超過吾人預期範圍時，調適費用將更驚人，亦將更難以有效的因應。本文綜合各方見解，概要闡述一些原則性的思考方向，以就教於識者，也提供各界研訂調適策略參考。

(一)產業的前置規劃

大多數氣候科學的專家皆認為全球的溫暖化及氣候的快速變遷已是目前難以迴避的趨勢，各產業應有此認知，並應將產業的因應對策納入其規劃與運作之中，才不致於在商業運轉過程中進退失據、任人宰割、或無所適從。以農業生產為例，溫度的上升及極端天氣發生頻率的增加，使得農作物生產非但必須考量耐熱、耐旱等耐非生物性逆境能力的提升，亦需要加強病、蟲、草源的更迭所造成新的病害、蟲害與雜草干擾等耐生物性逆境危害的能力，並改進耐逆境栽培技術的研發等，才能在全球暖化/氣候變遷下維持生產競爭力。再以作物收穫後的處理為例，無論係極端天氣事件帶來的災害，或者是異常氣候改變了周遭的氣象環境，均可能影響現行的收穫後處理程序，使得收穫物品質與新鮮度難以再以現行方法保存。因此，亦不可忽視氣候變遷對收穫後處理的附加效應，以確保收穫物的營養、安全與價值，並在市場銷售之前維持農產品質。

近年來部分已開發國家倡導『節能減碳(energy conservation and carbon reduction)』以求緩解氣候變遷速率，重視食物哩程(food mileage)中的能源消耗及碳排放，更推廣所謂『碳足跡(carbon footprint)』制度以控制生產履歷中碳的釋出與排放，或所謂『水足跡(water footprint)』標示以管制食物哩程中所耗費的水資源。倘若國內僅從事生產調適卻未顧及搭配緩解措施，那麼即使收穫物豐產且品質優越，若無法通過『碳足跡』及『水足跡』的標準取得相關產品標示，對於此等市場仍將不得進入銷售。因此，為了這類市場的要求及競爭的必要，應注重國際時勢及各地市場脈動。從大環境至微環

境皆可能必須予以調整與調適，才能在氣候變遷的時代洪流中持續產業的運作，也才不致於遭到他國產品的俳擠甚或淘汰。所以，各產業都必須認清國際現勢，瞭解氣候變遷的內涵及生產地區特色，妥適採行因應氣候變遷的前置規劃。

(二)產銷結構的脆弱部分

產業之運轉流程相當繁複，不同環節受到氣候變遷的衝擊程度不一，雖然不容易決定風險最高的部分，但是在策略規劃過程中仍宜注意不至太過或不足。舉例來說，針對田間農作物的氣象災害防護，無論雨量或溫度，皆可以當地歷年的氣象統計數值為基準，規劃如淹水、乾旱、高溫或低溫的因應策略，預設各種調適措施以因應災害性天氣的發生。因為過高標準的調適措施，必然花費昂貴，標準太低，則可能未見成效，特別在如救濟、救助、復耕等部分。以歷史紀錄為準，再參考近年狀況或當時情境機動調整，應是最適切的做法。此外，由於農作物種類及其不同生育期對於環境的敏感度並不相同，各種因應措施宜有彈性空間，可於屆時依照實際情況拿捏、調整。

各種產業的整體產銷過程中，必然有較為脆弱的部分，如何決定各環節的風險則需要多層面的評估。然而，惟有預先瞭解產銷結構中的脆弱部位，才有機會提前採行必要補強措施，或當情境發生時給予最迅速與最妥適的防護與救濟(助)因應。例如，臺灣北部地區一期稻作及南部地區二期稻作的生產，當降水量因為春雨、梅雨或颱風帶來的雨量不足時，或者預期降水短缺可能發生乾旱時，應當事前準備這些缺水風險的因應策略與措施，在有需要時立即派上用場。反之，當降水過多或過長造成水患時，則需要有預先擬定的淹水處置方案以為因應。

(三)產業間的連繫與支援

以農業部門而言，光以農作物的產銷作為單一產業，即可以區分為糧食(如水稻、雜糧等)、蔬菜(如葉菜、果菜、根莖蔬菜等)、果樹(如熱帶果樹、溫帶果樹等)、花卉(如觀葉植物、木本花卉、球根花卉、草花等)等作物類別的許多個產業鏈。若以個別作物為一產業，則產業種類與數目將更多。各產業擬定的調適策略固有其獨立與特殊處，產業之間仍然可以相互交流、彼此支援，乃至於協調與配合，來提高加成的因應效果。產業之間平時應有定期的連繫與互助演練，如此一旦氣象災害或緊事故發生時，即可快速反應、互相支援。

政府相關單位的積極參與，提供經費與技術方面的協助也扮演關鍵角色。政府部門可以公權力來整合性質相近的產業使成為更有效率的作業系統，並搭建起產業之間的溝通橋樑，促進其互助、合作與資源共享。政府以上位的宏觀視野，而非下位的作業層次，協調和整合產業間的連繫與支援，才能結合互補的資源及策略做出最有效率與效能的因應結果。同時，也可以讓不同的產業各本其份、各就其位，形成最佳共同體架構的產業鏈，在有特殊需要時高效的處理特定事件，充分發揮產業特色與資源利用的最大效益來解決問題。在共同體架構的各個產業，可以隨時討論其策略與措施的優缺得失，經由溝通、分享、檢討而獲得改進。

(四)策略的彈性空間和社會的恢復能力

僅有調適策略而無緩解策略，或僅具備緩解策略而未預擬調適策略，都無法完整因應氣候變遷的複雜效應。社會在改變，氣候變遷的未來情境也逐時在變化，建立有包容、有彈性的策略/政策，以及有應變、恢復能力的社會/政府，才能生存於變化中的氣象和變遷中的氣候萬般情境。生活在氣候變遷中的人類，自當有新思維、新語言與新的行動力，一方面謀求減輕人類對氣候的壓力，另方面構思建立具有解決問題能力的社會。如此有智慧、可以永續的社會，才能夠面對伴隨氣候變遷而來的多樣環境與逆境，也才可能孕育出能夠處理與解決各式各樣氣候變

遷問題的人才。身處於混沌未明的氣候變遷趨勢當中，惟有自我裝備，努力於降低各種情境的負向衝擊，才能讓環境、社會和群眾三方皆得以永續長存與發展。

人類活動系統調適氣候變遷的能力，取決於財富、科技水準、教育程度、社經結構、資源取得、經營能耐、政府部門意願及受影響現況等各種因素，不同國家社會及其群眾各有特質，對於這些因素的感受和反應亦各有不同。對於開發中國家而言，由於上列因素皆處於劣勢或弱勢，因此調適能力較低，脆弱度則相對較高。許多開發中國家尚且遭受來自於人口快速增長、資源枯竭及貧窮等壓力，社會的落後及政府的無能，經常對於全球性的問題束手無策，無力對付環境的風險及逆境的災損。反之，已開發國家憑藉經濟與科技優勢，掌握豐沛的政治與社會資源，能夠有效的將因應氣候變遷的風險評估納入國內和國際的發展誘因之中，因而得以規劃永續的發展策略並降低對於氣候變遷的脆弱程度(IPCC 2001)。

因此，策略的彈性空間和社會的恢復能力是不可或缺的兩項要素，特別是對於開發中國家仍需要長期的努力。例如，處在相同的氣象逆境下，已開發國家能夠憑藉進步的農業科技配合彈性策略降低災損，或由多樣的生活與較佳的社會恢復力來吸納災害強度；欠缺這些有利的條件，加上資源不足，開發中國家則無力應變此一逆境衝擊而嚴重受害。此種情況亦可見於同一國家/社會的不同地區或族群，弱勢的地區及族群受到的壓力和衝擊通常較強大(Adger 2003, Adger *et al.* 2005）。

(四)調適策略的機制

由於條件與資源不同，調適策略的規劃必須因地置宜，才能擬定適當的因應機制。依照 Scheraga and Grambsch (1998)的意見，在規劃調適策略時應當考量以下 9 項基本原則(fundamental principles)：

1. 氣候變遷對該地區的效應；
2. 氣候變遷對不同族群的影響；
3. 氣候變遷同時帶來風險與機會；
4. 氣候變遷造成的多元逆境及影響因素；
5. 調適策略的花費；
6. 調適效益的差異；
7. 氣候變遷複雜的多面向衝擊；
8. 不合適的調適策略可能造成更不利的結果；
9. 無論是否採行合適的調適策略機會依然存在。

在調適策略下擬定的各項採行措施，亦須配合當時的情境彈性調整。例如，針對氣候變遷造成乾旱頻率升高的作物耐旱育種策略，仍然需要配合當地可利用水資源調整栽植期，並避開供水不足的脆弱地區，以減少乾旱災情的風險。

在這 9 項規劃調適策略應考量的基本原則之外，另可同時致力於提高調適應變力，以增進調適效益。Smit *et al.* (2001)的報告指出，提高社會/社區的調適應變力有助於減輕氣候變遷的脆弱度，而且增進調適能力的做法亦可促進永續發展，本文將之歸納為以下 6 項: (1)加強資源的取得、(2)改善貧窮、(3)降低資源與財富的不均和不公、(4)強化教育及資訊流通、(5)改進基礎設施及(6)增進結構性能力與效率。

緩解策略

相對於調適策略，緩解策略係另一種對應氣候變遷的作為(Verbruggen 2007)，主要以減少溫室氣體排放(greenhouse gas emissions)或增加從大氣中去除這些溫室氣體為訴求。前者在於減降溫室氣體排放量，後者則為促進碳匯(enhancing carbon sinks)容量以消除溫室氣體。大致言，調適策略旨在提供吾人準備及降低未來加諸於國家社會的各種逆境，而緩解策略則是減緩及減輕吾人遭受氣候變遷負向衝擊的努力，兩者最主要差別在於我們可藉由調適過程增進因應不

確定未來的能力，透過特定緩解措施的努力來控制特定的氣候行為及負面作用。

除此之外，由過去的經驗與事證，緩解策略與措施通常反應於影響全球或廣大地區的氣候變遷，調適策略與措施則適合全球溫暖化對特定地區造成的特定衝擊，因應該項特定變化與情境。舉例來說，聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC)及京都議定書(Kyoto Protocol)即致力於降低溫室氣體排放的全球性努力，要求世界各國配合減降排放溫室氣體，以減緩溫度的上升及氣候快速的變遷。另外，世界各國或各地區概以該國或該地區受到負向衝擊的情境，採行對應的調適策略與措施以解決該項問題，侷限於特定範圍與特定情境。然而儘管採行最有效果的緩解對策降低排放量，仍無法避免現行氣候變遷的衝擊，因此綜合對策仍需要搭配調適策略(Klein *et al.* 2007)。依照 Klein *et al.* (2007)及 Yohe *et al.* (2007)評估結論，任何的調適策略均需要配合對應的緩解策略，否則有些自然生態系勢終究難以調適氣候變遷之衝擊。

無可諱言，若干已開發先進國家及開發中國家為了自身利益，而無真正緩解溫室氣體排放的意願，或因產業的蓬勃發展仍持續大量溫室氣體的釋放。這些國家主要採行調適策略，而非緩解策略，在於讓產業和民眾調適氣候的變遷及其引發的災害與衝擊，以減輕有形或無形的損失。

利用地理條件研擬的緩解策略，係一種大規模的減少溫室氣體做法，Barker *et al.* (2007) 推薦的所謂『地理工程(geoengineering)』即為範例。英國 The Royal Society (2009)的一份研究報告中如此定義，“地理工程為一大尺度改變地球氣候系統以緩和全球溫暖化的方法/措施”，包括大氣層外的遮陰或保存海洋冰山等均是其一，並作出“減少溫室氣體排放係最安全與最可預期減緩氣候變遷的早期方法” 總結。惟 IPCC (2007b)的報告指出，諸如應用海洋吸納大氣中二氧化碳的地理工程選項，其成本效益仍未明朗，尚且實際做法與效果亦有待證實。因此，大規模減少溫室氣體排放的緩解策略需要國際間的共同合作，才可能獲得實效。

調適與緩解互為競爭策略的誤解

從另一角度，調適與緩解係相互競爭的兩種因應氣候變遷的策略，經常各有得失，卻也被誤解為互不相容。其原因在於從緩解策略中取得利益或付出代價的人群/產業，不同於從調適策略中取得或付出的人群/產業，各方可能因而互有對立或矛盾(Schneider *et al.* 2001)。從中分析結果，事實上這些爭議並非不相容，而係分從此兩種策略中獲利或付費的各方可能分屬不同的人群/產業。當獲利與付費的雙方成為同一對象，或雙方均將此兩種策略視為解決氣候變遷衝擊的手段，其終極目標皆為減輕乃至於消除人為力量加諸於氣候變遷的不當影響，則可顯示兩種策略互補的本質。

經濟學者常利用成本效益分析(cost-benefit analysis)，試圖從氣候變遷造成的衝擊、調適及緩解所衍生的費用與利益中，計算出最佳的平衡點(Toth *et al.* 2001)。然而此種的計算並無實質意義，因為氣候變遷引發的諸種情境不一，造成不確定的損害，所以這些未來花費亦不確定，而且是屬於未來的支出。在成本效益分析中所設定的最佳標準，係由經濟學家自行擬定的判別價值，屬於個人自行的判斷，未必獲得多數人同意(Azar 1998)。更何況有些是在不確定情境之下的設定值，相關策略的花費不易準確估算，使得決策人員常猶豫不決(Klein *et al.* 2007)。如此一來，從現況及現行標準去推估不確定的未來，並無其需要與必要，也非常的困難。反倒是透過風險評估(risk assessment)，規劃特定情境相對的因應策略，或採行較為適切的策略方案達到調適或緩解目的，更能符合現在的需求。

永續性的調適策略—調適與緩解的兼顧

人類的各種系統，亦需要兼顧調適與緩解策略，否則必將付出極高的經濟與社會成本。於是，如果將調適定義為永續性的發展作為，同時兼顧減少溫室氣體的排放及氣候變化與變遷造成人類生活系統的脆弱度，則調和此兩種策略的目標與範圍將使得預期程效更加宏遠，而非僅專注於特定範圍與情境的衝擊，也是較佳和較適的雙贏邏輯。如此亦可避免爭辯調適策略與緩解策略的效益與差異，不須進行無謂熟先熟後的爭執，全心致力於結合此兩作為。以更有效、更有目標和更大面向的觀點，來減緩全球暖化、延滯氣候變遷，並調適對環境和人類生活的衝擊。美國國家科學院早在 1992 年的報告(US Engineering and Public Policy Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming Committee on Science 1992)即指出，正處於溫室情境下的全球社會，大格局調適作為而非狹隘的淺碟調適，才是吾人此刻所需要的政策方向。IPCC (2001)的第三版評估報告亦提出總結，認為緩解與調適當為因應全球暖化的兩種互補策略，並歸納以下三種觀察結果:(1)不同尺度的調適策略乃因應氣候變遷緩解策略的必要互補性拼圖；(2)缺乏資源的策略調適能力欠佳且脆弱度高；及(3)調適策略與永續發展、均衡促進等措施可以互相彌補及加強解決問題的效果。調適策略的優劣，除了花費之外，減輕負向的衝擊，增進有利的情境，以及降低極端事件、變異程度與變遷速率等的脆弱度，都是評量標的。

再者，吾人尚未能把握現行的緩解策略是否確實能夠減緩氣候的變遷速率，畢竟大氣中充滿大量的溫室氣體，不易在短期間即可有效的降低濃度。在未到達溫室氣體的排放與減量間的平衡之前，仍需要配合各種的調適策略降低損害，在無可避免的暖化趨勢下盡力減少各種衝擊的不確定性。本文要再三強調，針對全球暖化及氣候變遷現象的有效因應，係結合緩解與調適雙重策略的對策，包括人類生活系統及自然環境的自發行為與預設規劃，並佐以群眾、產業、社會和政府的整合力量共同參與。這樣的永續性調適策略，可以在低風險與低負面作用下有效的降低全球暖化及氣候變遷的不利衝擊。

適用於農業生產的調適與緩解策略

正如 IPCC (2007a, 2077b)報告上的陳述，氣候的快速變遷同時衍生溫度上升、降水形態改變、極端天氣事件增加及海平面上升(rising sea levels)等 4 大明顯徵狀，對於『看天』的農業當然會造成鉅大衝擊。目前全球雨灌農業(rainfed agriculture)仍佔有高達 80%比例，可以想見露地栽培作物必然遭受相當的影響，因為這 4 種景況將產生的萬般情境，理論上每一種情境對露地栽培而言都必須有配套調適策略。單以降水形態改變為例說明，對於欠缺灌排基礎設施的地區或國家，全球溫暖化所改變的降水(雨)形態事勢將大大影響作物的栽培，一旦頻繁發生乾旱情事，必然造成糧食供給吃緊甚至造成饑荒。相對的若經常性下雨，則容易形成水患，難以保障民眾的糧食安全。

面對全球人口增長的年代，必須伴隨糧食供應的增加，任何對減少糧食生產的氣候變遷情境或大幅的氣候變化，均將對農業帶來衝擊，也會延展至對政治、經濟與社會的壓力。為了維護糧食安全，一國、一區域或國際社會都應該有糧食儲備及互助機制，儲存平時剩餘糧食並建立互助救濟網絡，以供應不急之需或解決燃眉之急。固然透過市場貿易能夠形成糧食流動，由需求者視需要採購，但是當處於急難狀況或市場糧食供需失調時，仍然無法在短期間內應付突發危難，更何況是對於束手無策的社經弱勢或落後之開發中國家與地區(Jenning 2008)。

如前述介紹，緩解策略以減少溫室氣體的排放為目的，調適策略則在於減輕衝擊的損害。對於地狹人稠的臺灣，似宜以溫度及降水(雨)有關的情境為農業主要因應策略的

擬定方向，相關的項目包括了耐熱、耐高低溫差、耐旱、耐淹與耐鹽等的作物育種和栽培、肥培技術，有關病蟲草害的安全管理，以及水資源的經營管理和農業溫室氣體的減量。這些對應的策略均需調有短、中、長期的選項，才能夠兼具立竿見影及長遠目標的成效，也才符合經濟上的成本效益。

結語

全球的溫暖化及氣候的快速變遷屬於長期而全面的現象，因此在規劃緩解與調適策略時，必須考量時間及空間尺度。因為短期的策略不能替代長期策略，地區策略不能涵蓋大區域問題，反之亦然。果若能在整體因應架構中兼顧短期與長期效應，包容特定地區與廣大區域的對應做法，並同時兼採緩解與調適策略，自然會有較佳的永續效果。又若能加上成本效益，納入各方的權利義務關係，在花費與獲利、正向與負向、以及現況與未來等相對因素上取得適當的平衡，則因應架構將更具彈性而可長可久。我國的農業已頗有基礎，需要加強的是永續經營的概念及做法的落實，特別是民眾/農民的教育宣導，而認識與推演氣候變遷的指標徵狀則是因應氣候變遷的第一步。天下沒有白吃的午餐，要怎樣收就必須怎樣做，利益和代價是雙面刃，索求的津(補)貼愈多則稅賦愈高、他項建設愈少。同理，沒有投資於因應策略的研擬，怎能期待難關的度過和機會的掌握。而可以預見全球溫暖化及氣候變遷所造成的考驗將更趨嚴峻，情境將更多元而複雜，如何面對未知的未來景況，不僅考驗著我們的勇氣，也評價著我們的智慧。

引用文獻

Adger WN (2003) Social capital, collective action and adaptation to climate change. **Econ. Geography** 79:387-404.

Adger WN, WA Nigel, EL Tompkins (2005) Successful adaptation to climate change across scales. **Global Environ. Change** 15:77–86.

Adger WN, S Agrawala, MMQ Mirza, C Conde, K O'Brien, J Pulhin, R Pulwarty, B Smit, K Takahashi (2007) Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. p.717-743. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden, CE Hanson (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, N.Y., USA.

Azar C (1998) Are optimal CO_2 emissions really optimal? Four critical issues for economists in the greenhouse. **Environ. Resour. Econom.** 11:301–315. doi:10.1023/A:1008235326513.

http://www.hm-treasury.gov.uk/d/azar_1998_four_crucial_issues.pdf (visit on 12/23/2011)

Barker T (2007) 11.2.2 Ocean fertilization and other geo-engineering options. Mitigation from a cross-sectoral perspective. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B Metz *et al.* (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch11s11-2-2.html (visit on 12/23/2011)

IPCC (2001) Third assessment report. Climate Change. 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, February 16, 2001. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm (visit on 12/23/2011)

IPCC (2007a) 4. Adaptation and mitigation options. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, RK Pachauri, A Reisinger (eds.) IPCC, Geneva, Switzerland.

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms4.html (visit on 12/23/2011)

IPCC (2007b) C. Mitigation in the short and medium term (until 2030). Summary for

Policymakers. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B Metz *et al.* (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., USA.

Jennings PA (2008) Dealing with Climate Change at the Local Level. **Chem. Engin. Prog.** 104(2):40– 44.

Klein RJT (2007) Executive summary. Inter-relationships between adaptation and mitigation. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ML Parry *et al.* (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., USA. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch18s18-es.html (visit on 12/23/2011)

Levin K (2011) Study Testing Skeptics' Critiques Reconfirms Basic Climate Science: World Resources Institute Insights. The World Resources Institute, Washington D.C., USA.

http://climatechangeadaptation.wordpress.com/ (visit on 12/23/2011)

Scheraga JD, AE Grambsch (1998) Risks, opportunities, and adaptation to climate change. **Clim. Res.** 10:85–95.

Schneider S (2001) Synergies and Tradeoffs between Adaptation and Mitigation. Overview of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. JJ McCarthy *et al.* (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., USA. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/062.htm#1442 (visit on 12/23/2011)

Schneider SH, S Semenov, A Patwardhan, I Burton, CHD Magadza, M Oppenheimer, AB Pittock, A Rahman, JB Smith, A Suarez, F Yamin (2007) Executive summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden, CE Hanson (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch19s19-es.html (visit on 12/23/2011)

Smit B (2001) Executive summary. Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J.J. McCarthy *et al.* (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., USA. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/642.htm (visit on 12/23/2011)

The Royal Society (2009) Summary. Geo-engineering the climate: science, governance and uncertainty. Issue of September 1, 2009. UK Royal Society's website. http://royalsociety.org/policy/publications/2009/geoengineering-climate/ (visit on 12/23/2011)

Titus JG (1990) Strategies for adapting to the greenhouse effect. **J. Amer. Plan. Assoc.** 56: 311–323.

Toth FL (2001) Economic Considerations. Decision-making Frameworks. Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B Metz *et al.* (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., USA. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg3/384.htm (visit on 12/23/2011)

Verbruggen A (ed.) (2007) Glossary J-P. Annex I. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B Metz *et al.* (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/annex1sglossary-j-p.html (visit on 12/23/2011)

US Engineering and Public Policy Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming Committee on Science (1992) Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation, and the Science Base. The National Academies Press, Washington D.C., USA. 944pp.

Yohe GW (2007) Executive summary. Perspectives on climate change and sustainability. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ML Parry *et al.* (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch20s20-es.html (visit on 12/23/2011)

－編輯：楊純明